

/

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

## **IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

As rescanning documents *will not* correct images,  
Please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.

**OPTICAL FIBER GYRO, PHASE MODULATOR AND ITS MANUFACTURE**

Patent Number: JP7198398  
Publication date: 1995-08-01  
Inventor(s): NISHIURA YOZO; others: 01  
Applicant(s):: SUMITOMO ELECTRIC IND LTD  
Requested Patent: ☐ JP7198398  
Application Number: JP19940012077 19940106  
Priority Number(s):  
IPC Classification: G01C19/72  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PURPOSE:** To reduce the number of depolarizers while a single-mode fiber is being used by a method wherein a polarization maintaining optical fiber is used as an optical fiber which is wound on a phase modulator.

**CONSTITUTION:** Light, from a light source 1, which is incident on an optical fiber 2 is passed through a coupler 3, and it is changed into nonpolarized light by a depolarizer 10 and into linearly polarized light by a polarizer 4. A beam of light, on one side, which is formed by branching it into two by a coupler 5 is passed clockwise through a fiber coil 6 by a single mode fiber, it is passed through a phase modulator 7, and it is returned to the coupler 5. A beam of light, on the other side, is passed through the modulator 7, it is passed counterclockwise through the coil 6, and it is united with the beam of clockwise light by the coupler 5. The beam of light is passed through the polarizer 4, it is changed into nonpolarized light by the depolarizer 10, and a photodetector 9 detects the beam of clockwise light and the interference optical intensity of the beam of counterclockwise light. It is synchronously detected by a phase-modulated synchronizing signal, and an output which is proportional to a phase difference is obtained. Since a polarization maintaining optical fiber is wound on the modulator 7 at this time, light is not polarization modulated by the modulator 7, and a depolarizer is not required near the coil 6.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 7 - 1 9 8 3 9 8

(43) 公開日 平成 7 年 (1995) 8 月 1 日

(51) Int. Cl. °

G01C 19/72

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

J 9402-2F

S 9402-2F

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願平 6 - 1 2 0 7 7

(22) 出願日 平成 6 年 (1994) 1 月 6 日

(71) 出願人 0 0 0 0 0 2 1 3 0

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番 3 3 号

(72) 発明者 西浦 洋三

大阪府大阪市此花区島屋一丁目 1 番 3 号住

友電気工業株式会社大阪製作所内

(72) 発明者 岩下 隆樹

大阪府大阪市此花区島屋一丁目 1 番 3 号住

友電気工業株式会社大阪製作所内

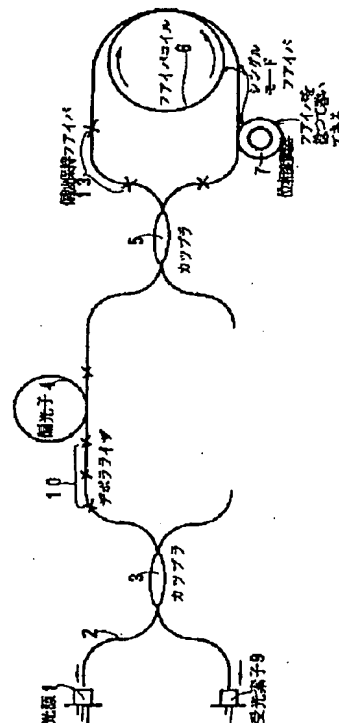
(74) 代理人 弁理士 川瀬 茂樹

(54) 【発明の名称】 光ファイバジャイロ、位相変調器及びその製造方法

(57) 【要約】

【目的】 シングルモードファイバを用いてファイバコイルを製作した光ファイバジャイロは、偏光子を通る光量を安定させるために、ファイバコイルの近くにデポライザを必要としている。ファイバコイルの近くのデポライザの作用は実際には、位相変調器による偏波変動によって偏光子を通る光量が変動するのを防いでいる。ところが、デポライザは偏波保持光ファイバ 2 本を 45 度の主軸角をなすように接続しなければならない。これが光ファイバジャイロのコストを押し上げる。ファイバコイルをシングルモードファイバとする光ファイバジャイロにおいて、デポライザの数を減らすことが本発明の目的である。

【構成】 位相変調器は圧電振動子に光ファイバを巻き付けたものであるが、この光ファイバを偏波保持光ファイバとするか、シングルモードファイバであって軸線のまわりに捻ったファイバにする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 単色、準単色光を発生する光源と、シングルモードファイバを多数回巻き回したファイバコイルと、圧電振動子の周りにファイバを巻き回してなりファイバコイルの一端に設けられる位相変調器と、光源から出た光を 2 つに分岐させファイバコイルの両端に入射させるカップラと、ファイバコイルを廻った光を干渉させ干渉光の強度を検出する受光素子とを含み、光源から出た光をコイル状に巻き回された光ファイバコイルの中を時計廻り、反時計廻りに光を伝搬させ干渉光の強度変化を受光素子で検出し、時計廻り光、反時計廻り光の位相差から回転角速度を求める光ファイバジャイロであって、位相変調器の圧電振動子に巻き付けられる光ファイバを偏波保持光ファイバとすることを特徴とする光ファイバジャイロ。

【請求項 2】 単色、準単色光を発生する発光素子とこの光量を監視するモニタ用の受光素子よりなる光源と、シングルモードファイバを多数回巻き回したファイバコイルと、圧電振動子の周りにファイバを巻き回してなりファイバコイルの一端に設けられる位相変調器とを含み、光源から出た光をコイル状に巻き回された光ファイバコイルの中を時計廻り、反時計廻りに光を伝搬させ干渉光の強度変化を光源の発光素子の駆動電流変化、駆動電圧変化、またはモニタ用受光素子の光電流変化によって検出し、時計廻り光、反時計廻り光の位相差から回転角速度を求める光ファイバジャイロであって、位相変調器の圧電振動子に巻き付けられる光ファイバを偏波保持光ファイバとすることを特徴とする光ファイバジャイロ。

【請求項 3】 単色、準単色光を発生する光源と、シングルモードファイバを多数回巻き回したファイバコイルと、圧電振動子の周りにファイバを巻き回してなりファイバコイルの一端に設けられる位相変調器と、光源から出た光を 2 つに分岐させファイバコイルの両端に入射させるカップラと、ファイバコイルを廻った光を干渉させ干渉光の強度を検出する受光素子とを含み、光源から出た光をコイル状に巻き回された光ファイバコイルの中を時計廻り、反時計廻りに光を伝搬させ干渉光の強度変化を受光素子で検出し、時計廻り光、反時計廻り光の位相差から回転角速度を求める光ファイバジャイロであって、位相変調器の圧電振動子に巻き付けられる光ファイバを軸線の周りに捻られたシングルモードファイバとすることを特徴とする光ファイバジャイロ。

【請求項 4】 単色、準単色光を発生する発光素子とこの光量を監視するモニタ用の受光素子よりなる光源と、シングルモードファイバを多数回巻き回したファイバコイルと、圧電振動子の周りにファイバを巻き回してなりファイバコイルの一端に設けられる位相変調器とを含み、光源から出た光をコイル状に巻き回された光ファイバコイルの中を時計廻り、反時計廻りに光を伝搬させ干

渉光の強度変化を光源の発光素子の駆動電流変化、駆動電圧変化、またはモニタ用受光素子の光電流変化によって検出し、時計廻り光、反時計廻り光の位相差から回転角速度を求める光ファイバジャイロであって、位相変調器の圧電振動子に巻き付けられる光ファイバを軸線の周りに捻られたシングルモードファイバとすることを特徴とする光ファイバジャイロ。

【請求項 5】 シングルモードファイバを圧電振動子に巻き付けて、圧電振動子の伸縮に伴う光ファイバの変形により、光ファイバの屈折率を変化させて、光ファイバ中を伝搬する光に位相変調を加えるファイバ型位相変調器において、圧電振動子に巻き付けられる光ファイバが捻られていることを特徴とするファイバ型の位相変調器。

【請求項 6】 ファイバコイルの一端のファイバを予め捻っておき、捻られた部分を繰り出しながら、圧電振動子に巻き付けることにより、位相変調器を製造することを特徴とするファイバ型位相変調器の製造方法。

【請求項 7】 シングルモードファイバを巻き付けた供給用のポピンまたは圧電振動子を回転させながら圧電振動子にシングルモードファイバを捻れた状態で巻き付けることを特徴とするファイバ型位相変調器の製造方法。

【請求項 8】 コイル状に巻き回された光ファイバコイルの中を時計廻り、反時計廻りに光を伝搬させ、時計廻り光、反時計廻り光の位相差から回転角速度を求める光ファイバジャイロであって、ファイバコイルの途中または端にひとつの複屈折性媒質を設けたことを特徴とする光ファイバジャイロ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【 0 0 0 1 】

【産業上の利用分野】 この発明は、自動車、飛行機、船舶などの運動体の回転角速度を測定する光ファイバジャイロに関する。特に製造コストを押し上げる要因となるデポラライザを除くことのできるシングルモードファイバをファイバコイルとする光ファイバジャイロに関する。

## 【 0 0 0 2 】

【従来の技術】 従来の光ファイバジャイロは、図 2 に示すような構成を持つ。これは光ファイバジャイロの基本的構成である。Minimum Configurationと呼ばれることがある。光ファイバジャイロとして機能するための最小の構成であると思われたからである。光源 1 から出た単色、準単色光は、光ファイバ 2 の端に入射し、カップラ 3 を通過し、偏光子 4 を通る。ここで直線偏光になる。これがカップラ 5 を通り分岐して、ファイバコイル 6 の両端に入る。

【 0 0 0 3 】 これらの光は時計廻り光、反時計廻り光としてファイバコイル 6 を回る。これがカップラ 5 を反対向きに通過し、偏光子 4、カップラ 3 を通り、受光素子 9 に入る。ファイバコイルが回転していると、反時計廻

り光と時計廻り光の位相が異なる。位相差は回転角速度に比例する。ファイバコイル 6 の一端には位相変調器 7 が設けられる。ここを通過する光は位相変調を受ける。位相変調を受ける時刻が時計廻り光と反時計廻り光で相違するので、その影響が残り、受光素子の出力は、位相変調周波数のすべての高調波を含むようになる。同期検波して基本波の大きさを求める。基本波は位相差に比例する大きさを持つ。これによってファイバコイルの回転角速度が求められる。

【0004】ファイバコイルやカップラその他のファイバがすべて偏波面保持光ファイバであればこの構成で良い。しかしすべての光路を高価な偏波面保持光ファイバで作ると極めて高価額の光ファイバジャイロになってしまう。ファイバコイルやカップラなど光路の殆どすべてを安価なシングルモードファイバで作りたいものである。そうすれば安価な光ファイバジャイロを提供できる。しかし、シングルモードファイバを使う場合は、図 3 に示すように、光路中にデポライザ 10、11 を挿入する必要がある。

【0005】デポライザは如何なる偏光状態の入射光をも、無偏光に変えるデバイスである。デポライザは一つあるいは二つ必要である。ファイバコイル 6 の近くのデポライザ 11 だけの場合もある。さらに光源 1 と偏光子 4 の間にもデポライザ 10 を入れることもある。デポライザを入れる目的は、偏光子を透過する光レベルを安定化させることであるとされている。デポライザで無偏光にすると、全光量の半分が偏光子を透過できる。偏光状態が途中で変わっても、デポライザの作用で、受光素子に入る光の振幅が変わらないはずである。だから受光素子に戻る光のレベルを安定化できるという訳である。しかし実際はそうではない。ファイバコイル中のデポライザ 11 が有っても無くても、偏光状態はあまり大きく変化しない。それが普通である。その理由は以下のように考えられる。

【0006】①シングルモードファイバであってもファイバコイルになると、曲率のある方向とこれに直角の方向に異方性が生ずる。ためにファイバコイルが複屈折性を帯びてくる。

【0007】②光ファイバジャイロに使用される光源は、発光波長範囲の広い光源であるということである。単色性の高い光源はコヒーレンス長が長いので、ドリフトなどの原因になる。そこでコヒーレンス長が短い光源を使うことが多い。そうすると単色ではなく、発光波長がある広がりを持つようになる。

【0008】③複屈折媒質を通過した後の直交偏波間の位相差は波長に依存するため、波長範囲の広い光源を入射した場合には、位相差が広く分布する。一方、直交偏波間の位相差は、偏光の楕円率を決めるため、さまざまな偏光状態の合成になる。従って実質的にデポライズされてしまうのである。

【0009】であるからデポライザの作用は、実際には偏光子を通る光量の安定化にあるのではなく、ドリフトを小さくするという点にある。この点についてはあまり認識されていないので説明を要するであろう。そこで次にデポライザのドリフトに及ぼす影響を説明する。

【0010】位相変調方式の光ファイバジャイロにおいては位相変調器を必要とする。位相変調器は図 4 のように、圧電振動子に光ファイバを巻き付けることによって構成される。圧電振動子は円筒状、円柱状のものが一般的である。端面あるいは内外周面に電極を設け、電圧を印加できるようにしている。圧電振動子の円筒または円柱の側面に光ファイバを巻き付ける。電圧を印加すると圧電効果によって圧電振動子が伸縮する。これに伴い巻き付けた光ファイバ内に応力が発生する。応力によりファイバの屈折率が変化する。屈折率が変化するとこれを伝搬している光の位相が変化する。周波数  $\Omega$  の交番電場をかけると、光の位相の変化も  $\Omega$  で周期的に変化する。こうして位相変調をかけることができるのである。

【0011】このような位相変調器では、光ファイバに加わる応力が軸対称でない。つまり円筒に巻かれたファイバの円筒面に平行な方向の応力と、円筒面に直角な方向の応力が異なる。平行方向の応力は殆ど 0 である。直角な方向には応力がある。非軸対称の応力が働くので、ファイバには複屈折が生ずる。複屈折というのは、直交する直線偏光に対して屈折率が異なる現象である。また屈折率の差を複屈折ということもある。そうすると位相変調に同期して、複屈折が振動する。この結果、位相変調器を通過した光は位相変調だけでなく、偏波変調をも受けることになる。

【0012】位相変調方式の光ファイバジャイロでは位相変調周波数に同期した光信号（周波数  $\Omega$  の成分：基本波）の強度から回転角速度を求めている。回転角速度を与える基本波を信号成分と呼ぶ。ファイバコイルが静止している時、基本波成分は 0 である。もしも、信号成分以外に、位相変調周波数と同じ周波数成分が光信号に含まれると仮定する。この成分が変動するとドリフトが発生する。位相変調器のために偏波変調が起こるとすると、ファイバの途中に設けられた偏光子を通過する光量が偏波変調に同期して変動する。これは受光素子に入る光量の位相変調周波数と同じ周波数での変動となるのでドリフトが生ずる。

【0013】デポライザは、偏波変調を抑圧する作用を持つ。デポライザは任意の偏光状態の光を無偏光に変える。どのような偏光の光であってもデポライザを通過すると無偏光になる。時間的に偏光の変動する光であってもデポライザを通過すると無偏光になり、偏波状態が時間的に変動しなくなる。ために位相変調器を通過することにより偏波変調されたとしても、デポライザが偏波変調を打ち消す。デポライザはドリフトを低減で

きるのである。これがデポラライザによるドリフト低減効果である。デポラライザは偏光子を通過する光量を安定させるといよりも、このように位相変調器が引き起こす偏波変調を抑止する作用がある。このような作用は従来殆ど認識されていなかったように思われる。

【0014】以上説明した問題はファイバ光路をシングルモードファイバによって構成したものである。偏波保持光ファイバによって構成したものはそのような問題がない。偏波保持光ファイバでファイバコイルを作る場合は、圧電振動子に巻き付けて位相変調器を構成する光ファイバも偏波保持光ファイバを用いるのが普通である。偏波保持光ファイバは、非軸対称の応力が加わったとしても、その偏波保持能力のために偏波変調が発生しない。このために、偏波保持光ファイバによって光路を構成する光ファイバジャイロの場合は、デポラライザが不要である。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】シングルモードファイバを用いてファイバコイルやファイバ光路を構成する光ファイバジャイロに於いては、出力のドリフトをなくすために、デポラライザが必須であった。

【0016】デポラライザは、厚みが1:2の二つの複屈折性媒質を主軸が45度傾くように接合することによって作られる。媒質の厚みは、光源のコヒーレンス長を複屈折で割った値より大きい必要がある。複屈折性結晶を使うこともある。光ファイバジャイロの場合は、2本の偏波保持光ファイバを主軸が45度傾くように接続してデポラライザとする。

【0017】図5にこれを示す。偏波保持光ファイバLaと、偏波保持光ファイバLbを45度捻った状態で接続してある。このようなデポラライザの製造は容易ではない。通常のファイバの接続に比べて多大の時間を要する。単に2本の偏波保持光ファイバを接続するのではなく、45度主軸が異なる状態で接続する必要がある。ファイバを突き合わせ、光を入れて、ファイバを回転させ、出射光の偏光状態を測定する。所望の偏光でないときはファイバをさらに回転して出射光の偏光を調べる。出射光が所望の偏光になった時に2つのファイバを接続する。

【0018】このように突き合わせ面の相対角度を調整しながら45度の捻れ関係を捜す必要がある。このために、デポラライザのための偏波保持光ファイバの接続は多大の時間がかかる。結果としてデポラライザは高価な光学素子となる。これがデポラライザを用いた光ファイバジャイロを高価なものにする。安価なシングルモードファイバを使いつつ、デポラライザを減らす或は0にすることができる光ファイバジャイロを提供することが本発明の目的である。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明の光ファイバジャ

イロは、偏波保持光ファイバ或いはシングルモードファイバを捻った状態で圧電振動子などに巻き回している。

【0020】【発明 1】図1に第1の本発明の光ファイバジャイロを示す。光源1から出た光は、シングルモードファイバ2の端部に入射し、カップラ3を通り、デポラライザ10、偏光子4を通過して、カップラ5に入り二つのビームに分離する。それぞれのビームはシングルモードファイバよりなるファイバコイル6を時計廻り光、反時計廻り光として伝搬する。途中で位相変調器7により位相変調を受ける。これがカップラ5を通り、偏光子4、デポラライザ10を反対向きに通過する。さらにカップラ3から受光素子9に入る。受光素子は光電変換素子である。この後プリアンプ、同期検波回路と続いている。位相変調器7の信号に同期して、受光素子の出力を同期検波して基本波を求める。

【0021】図1の光ファイバジャイロと、図3の光ファイバジャイロを比較する。ふたつの違いがある。まず図3にあった、ファイバコイル6の近くのデポラライザ11が存在しないということである。もう一つは、ファイバコイルはシングルモードファイバで、位相変調器は偏波保持光ファイバを使い、ファイバコイルはシングルモードファイバによって作るということである。偏波保持光ファイバ(複屈折ファイバ)とシングルモードファイバを途中で融着接合する。この例では、デポラライザをひとつ減らすことができる。

【0022】【発明 2】本発明の他の構成に係る光ファイバジャイロは、圧電振動子に巻き付けるファイバを捻れたシングルモードファイバとする。単にシングルモードファイバとするのではない。捻れたシングルモードファイバとするのである。位相変調器の外観は図4と同様である。しかしシングルモードファイバが捻れた状態で巻き付けられている。通常、圧電振動子に巻き付けるファイバは数ターン~数十ターンの程度である。この全長の間で、ファイバの捻じれが360度以上あればよい。もちろん全長で、360度以上の捻じれがあっても良い。

【0023】このように捻れシングルモードファイバにより位相変調器を構成した光ファイバジャイロは図2と同じ構成であって差し支えない。但し図2は先程は偏波保持光ファイバで作ったものとして説明したが、本発明ではシングルモードファイバによって全ファイバ光路を作っている。ファイバコイルも、位相変調器もシングルモードファイバである。しかもデポラライザが不要である。

【0024】【捻れた状態にファイバを巻き付ける方法】捻れたシングルモードファイバを圧電振動子に巻き付ける方法について説明する。捻れファイバを巻き付けた位相変調器を作るには、一度ファイバをコイル状に巻いてファイバコイルを作り、そのファイバコイルの一端を繰り出して、圧電振動子の側周に巻き付けるようにす

る。圧電振動子の巻く部分に捻れを与えるために次の方法がある。

【0025】①ファイバコイルの一端の部分のファイバを予め捻っておき、これを圧電振動子の周囲に巻き付ける。予めM回捻っておくと、圧電振動子に巻いたファイバも全長にわたってM回の捻れがある。

【0026】②ファイバコイルの一端は捻らず、圧電振動子をファイバの方向を中心にして回転させながらファイバを巻き付ける。つまりファイバの巻取りの方向をZ軸とすると、圧電振動子の回転軸そのものをZ軸の周りに回転させるのである。

【0027】③ファイバコイルの一端は捻らず、ファイバコイルそのものをファイバの繰り出し方向の周りに回転させながら、圧電振動子の周囲に巻き付ける。

【0028】【ドリフト低減のための手段】本発明はシングルモードファイバを使いながらデポライザを減らしあるいは完全になくすようにする。このために上記のように、圧電振動子に偏波保持光ファイバを巻く、圧電振動子に捻れシングルモードファイバを巻くという方法を用いる。これでドリフトを減らすことができる。さらにドリフトを減らすには、デポライザに代えて、大きな複屈折を有する複屈折媒質を、ファイバコイルの中あるいはファイバコイルの端部に設ける。複屈折媒質として例えば偏波保持光ファイバを用いることができる。

【0029】

【作用】【位相変調器を偏波保持光ファイバによって作った光ファイバジャイロ】図1に示す光ファイバジャイロの作用を説明する。位相変調器が、圧電振動子に偏波保持光ファイバを巻き付けたものになっている。応力や屈折率に異方性があるために、偏波保持光ファイバは光の偏光状態を保存する。これで位相変調器を作っている場合は、偏波変調が起こらない。理想的に位相変調のみが起こる。そのために先に述べた、偏波変調に起因するドリフトが起こらない。ドリフトを抑えるために従来のシングルモードファイバ型光ファイバジャイロではデポライザを必要とした。しかし本発明はもはやデポライザを不要とする。図1ではデポライザ11を省き、デポライザ10は依然存在するように描いてある。しかしデポライザ10も省くことができる。

【0030】【位相変調器を捻れシングルモードファイバで作った光ファイバジャイロ】これも位相変調器による光の偏波変調を防ぐことができる。偏波変調を抑制し、ドリフトを排除できるので、デポライザを省くことができる。しかしながら、捻れファイバを用いた位相変調器が、偏波変調をどうして抑制できるのかという点については疑問があろう。位相変調器に起因する偏波の揺らぎの問題自体が新しいし、捻れファイバにより偏波揺らぎを抑制するという着想もまったく新しいものである。そこでこの点について詳しく説明する。

【0031】圧電振動子に巻いているファイバは軸対称

のシングルモードファイバである。位相変調器を駆動すると、ここを通る光の偏波は変動する。偏波変動は起こるのである。けれどもファイバが捻られているので、出射光の偏光状態が、捻られていないものとはかなり違ってくる。

【0032】{ねじれない状態での偏波変調} 初めに、捻らないでシングルモードファイバを圧電振動子に巻き付けた従来の位相変調器において、どのように偏波変調が発生するのかを説明しよう。簡単のために、圧電振動子が静止している時の複屈折は除く。圧電振動子が伸縮したことによるファイバに発生する応力によって誘起される複屈折のみを問題にする。

【0033】複屈折のある媒質に、直線偏光を入射すると、媒質を通過した後の光は楕円偏光になる。この時の楕円率は、媒質の複屈折率と光ファイバの長さに依存する。ここで楕円率というのは、離心率とも言い、楕円の長軸a、短軸bから、 $(a^2 - b^2)^{1/2} / a$ によって定義される。複屈折媒質の全長を、図6のように微小区間1、2、3、…に分ける。もともと複屈折媒質であるものを分けたので、微小区間は薄い位相板と考えることができる。これらの位相板には複屈折の主軸を想定することができる。これは圧電振動子が伸縮する方向である。捻っていないからどの位相板においても複屈折の主軸は同じ方向を向いている。つまり楕円偏光の主軸はどの微小区間でも共通である。したがって、直線偏光は位相板を通るごとに、楕円率が低下してゆくことになる。そして次第に円偏光に近付いてゆく。

【0034】直線偏光が複屈折媒質を進行してゆくと、楕円率が減り、円偏光に近づく。これはもとの直線偏光に直交する偏波成分が次第に増えてゆくということである。偏波変調の大きさは、この直交偏波成分の大きさによって評価することができる。初めの直線偏光がX方向に偏光していたとすると、直交偏波というのはY方向成分のことである。直交成分が増えるに従って、もとの偏光成分が減少してゆく。偏波状態が変化してもそれ自体ではエネルギーが変わるわけではない。しかしこれが偏光子を通るので、光のエネルギーが偏波状態に依存して変化してしまう。それでドリフトが起こるのである。

【0035】位相板を通るごとに、楕円率が減少して円偏光に近づくのであるが、この割合が一定なのではない。位相板の複屈折の主軸と、光の偏光の軸のなす角度により楕円率の減少の割合が異なる。楕円偏光の楕円率の低下が最も著しく、直交偏波間での成分変化が著しいのは、楕円偏光の主軸と位相板の複屈折主軸とが45度の角度をなす時である。ファイバが捻られていない場合は、想定された微小位相板で、同じ方向に偏光度が変化してゆく。M番目の位相板への入射偏光の軸の方位は、それまでのM-1番目までの位相板の弱い複屈折によって決まる。しかしこれは環境温度により著しく変動する。ために温度の変化により位相板の入射偏光の状態が

変動する。光ファイバジャイロの実際の使用条件においては温度変化がかなりあるので、偏光状態が変化する。

【0036】次に捻られた光ファイバでの偏光状態について考察する。捻られたファイバの中を伝搬する光は、ファイバの捻れを追うように偏光を回転させながら進行してゆく。捻れ角そのものではないが、捻れ角に比例して偏光が回転してゆくのである。ファイバの捻れによる偏光の回転はファイバの位置によって変わる。しかし複屈折の方向は一定である。ファイバが圧電振動子の周りに巻いてあり、半径方向と、軸方向の応力の違いにより発生する複屈折であるから、方向が一定である。このために、各位相板（ファイバを微小長さに仮想的に分割したもの）に入射する楕円偏光の長軸、短軸と、複屈折の主軸のなす相対角が、進行方向に少しずつ異なってくる。楕円偏光を変化させるのは、楕円の主軸と、複屈折の主軸のなす角度であるが、これが区間ごとに変化する。

【0037】もしもファイバが捻られていないと、楕円偏光の主軸方向が、光の進行方向に関して不変である。ために、複屈折の軸と、楕円偏光の軸のなす角度が一定である。時にはこの角度が45度であることもある。そのために偏光の変化はファイバ中を進行する距離に比例して増加する一方である。この偏光の変化が一定であれば差し支えない。しかしこれが温度変動により変化する。これがドリフトを引き起こすので問題である。本発明は、ファイバを捻っているのだから、楕円偏光と複屈折の軸の方向が、光の進行に従って周期的に変動する。もしもファイバの捻れによる角度が $\pi/2$ 以上であれば、複屈折の方位と、楕円偏光の方位との関係が反転するところがある。するとファイバの複屈折による楕円偏光に向かう偏光状態の変化が反対向きに起こる。もしも捻れ角が $\pi$ の整数倍であれば、ファイバの複屈折による偏光変化が完全に打ち消される。捻れ角が $\pi$ の整数倍であるようにはできないとしても、偏光変化は、 $\pi$ からのずれの長さから発生するだけである。ために全体としての偏光変動が極めて小さい。元の変化が小さいのであるから、温度による偏光状態の変化も極めて小さい。ファイバの捻れによる効果はこのように、ファイバの複屈折による偏光変化を打ち消すところにある。

【0038】本発明では、さらに、ファイバコイルの途中にまたはファイバコイルの一端に複屈折媒質を入れるのが望ましい。例えば複屈折結晶、偏波保持光ファイバなどを入れる。これは位相変調器による偏波変調とは直接の関係がない。しかしドリフトを抑制する上で効果的である。複屈折媒質は、複屈折率 $B$ とファイバの長さ $L$ の積が、光源のコヒーレンス長 $L_c$ 以上であるようにする。 $BL > L_c$ である。直交偏波間での光路長の差がコヒーレンス長以上であるから、これらの偏波の光は偏波が90度回転したとしても、以後干渉しない。ために出力のドリフトが少なくなる。

【0039】

【実施例】図1は本発明の第1の実施例に係る。この光ファイバジャイロは、単色、準単色光を発生する光源1、カップラ3、5、偏光子4、シングルモードファイバを多数回巻き回したファイバコイル6、圧電振動子に偏波保持光ファイバを巻き付けた位相変調器7、干渉光の強度を検出する受光素子9よりなる。光源1から出た光が光ファイバ2に入射し、カップラ3を通過してデポライザ10に到る。ここで無偏光になってから、偏光子4に入り直線偏光に変化する。これがカップラ5で2つの分岐光になる。一方のビームはシングルモードファイバのファイバコイル6を時計廻り光として通り抜ける。これが位相変調器7を通りカップラ5に戻る。他方のビームは先に位相変調器7を通り、ついで反時計廻り光としてファイバコイル6を通り抜ける。時計廻り光、反時計廻り光はカップラ5で合体し、偏光子4を反対向きに通り、デポライザ10で無偏光になり、カップラ3から受光素子9に到る。受光素子9は時計廻り光、反時計廻り光の干渉光の強度を検出する。これを位相変調に同期した信号で同期検波すると、位相の差に比例する出力が得られる。

【0040】この構造において、新規であるのは位相変調器に巻いた光ファイバが偏波保持光ファイバであるということである。位相変調のために圧電振動子は半径方向に動き、応力が変化するが、初めから定まった軸方向に複屈折性があるので、光の偏光状態が変化しない。ために位相変調器で光は偏波変調を受けない。このために、ファイバコイルの近傍にあったデポライザ11を省くことができる。図7は本発明の第2の実施例を示す。光源1、偏光子4、カップラ3、5、ファイバコイル6、位相変調器7、受光素子9、偏波保持光ファイバ13などを含む。ファイバコイルはシングルモードファイバを多数回巻き回したものである。この光ファイバジャイロは二つの特徴がある。一つは位相変調器7で、もうひとつは偏波保持光ファイバ13を入れたことである。

【0041】位相変調器7の新規な特徴を説明する。これはシングルモードファイバを軸線方向に捻った状態で圧電振動子に巻き付けたものである。こうするためには三つの方法がある。シングルモードファイバをファイバコイルに巻きこれを一部巻き戻して、この部分を軸線周りに捻り、この状態で圧電振動子の周りに巻く。これがひとつの方法である。もうひとつは、ファイバコイルから出ているファイバの端を、圧電振動子に巻き付け、ファイバコイルを軸線周りに回転させながら、圧電振動子に巻いてゆく。あるいは、圧電振動子を軸線周りに回転させながら、圧電振動子の周りに巻いてゆく。

【0042】ファイバを捻ることの意味は既に説明した通りである。位相変調により応力が周期的に変動し、複屈折も周期的に変動するが、複屈折の方向が光の偏光に



関して多様な方向を向くことになるので偏波変動が空間的に打ち消されるのである。捻じりの回数はファイバコイルの長さなどによって決まる。ファイバコイルのファイバ長が 1 0 0 m 程度の場合は、1 0 ターン以上捻っておく必要がある。これは実験の結果により分かることである。もうひとつの特徴は、偏波保持光ファイバ 1 3 をファイバコイルの近傍に挿入したということである。デポライザは 2 本の偏波保持光ファイバを接合したものであるが、本発明はデポライザの代わりに 1 本の偏波保持光ファイバを接続すれば十分である。偏波保持光ファイバを 1 本節減できる。また複屈折軸が 4 5 度異なるように微調整して接続するというのは、極めて時間がかかり難しいが、本発明はそのような操作が不要である。

【0 0 4 3】偏波保持光ファイバを入れるのは、直交偏波間での光路長の差が、光源のコヒーレンス長以上になるようにするためである。こうすることにより、直交偏波間で干渉が起こらない。偏波保持光ファイバの複屈折率を  $B$ 、ファイバの長さを  $L$ 、光源のコヒーレンス長を  $L_c$  とすると、 $BL > L_c$  である必要がある。そのような条件があるので、光源はコヒーレンス長の短いスーパーミネッセントダイオードを用いるのが望ましい。しかし、上記の条件が満足されるなら、半導体レーザを用いても差し支えない。

【0 0 4 4】図 7 の光ファイバジャイロでは、ファイバコイルの近くのデポライザ 1 1 を省くことができる。しかし偏光子の前のデポライザ 1 0 が残っている。光源から、偏光子に到る経路にカップラ 3 があるので、偏光状態が変動する惧れがあり、偏光子に入る光量が揺らぐ。これを防ぐためにデポライザ 1 0 を入れている。こうするとどのような偏光状態であっても、半分のパワーの光を偏光子に通すことができる。偏光子を透過する光エネルギーを安定化させるものである。本発明は直接このデポライザを不要とする改良を与えることができる。

【0 0 4 5】図 8 は本発明者がかつて発明した「光源から信号を取る光ファイバジャイロ」(特願平 4 - 2 6 0 6 6 2 号、特願平 5 - 5 7 7 5 6 号)に本発明を適用した光ファイバジャイロである。この光ファイバジャイロは、専用の受光素子がない。ために受光素子と発光素子を分岐させるカップラ 3 も不要である。図 8 において、光ファイバジャイロは、単色、準単色の光を発生する発光素子と、発光素子の光量を監視するモニタ用の受光素子を含む。発光素子 + 受光素子を光源といっている。光源 1 から出た光は、偏光子 4 で直線偏光になり、カップラ 5 で 2 つの光に分岐する。一方は偏波保持光ファイバ 1 4 を通り、ファイバコイル 6 を時計廻りに回転する。さらに位相変調器 7 で位相変調を受ける。他方は位相変調器 7 を反対に通るファイバコイル 6 を反時計廻りに伝搬し、偏波保持光ファイバ 1 4 を通り、カップラ 5 に到る。2 つのビームはカップラ 5 で合一し、偏光子 4 を反

対に抜け、光源 1 に到る。光源では、発光素子の駆動電流の変化、駆動電圧の変化、あるいは発光素子の光電流の変化によって、干渉光の強度を検出できる。この場合も、位相変調器をシングルモードファイバを捻って圧電振動子に巻き付けたものになっている。もしくは、位相変調器を構成する光ファイバを偏波保持ファイバとしている。こうすると、位相変調器による邪魔な偏波変動がほとんど起こらないので、ファイバコイルの近くのデポライザを省くことができる。代わりに偏波保持光ファイバ 1 4 をファイバコイルの近くに添加している。これも  $BL > L_c$  という条件を満足するようにする。位相変調器を構成する光ファイバが偏波保持光ファイバである場合は、偏波保持光ファイバ 1 4 の追加も不要である。

【0 0 4 6】この方式は、受光素子 9 に通じるカップラ 3 が不要であるから、光源からの光が直接に偏光子に接続される。偏波状態がこの間で変動する惧れがない。ためにデポライザ 1 0 を省くことができる。そうすると、デポライザを二つとも省略できる。シングルモードファイバを使いながら、デポライザを完全に省くことができる。

【0 0 4 7】

【発明の効果】本発明はデポライザの不要なシングルモードファイバを用いた光ファイバジャイロを初めて提案する。シングルモードファイバをファイバコイルに用いた光ファイバジャイロにおいて、製造コストを抑上げ、生産性向上を阻んでいたデポライザを廃止することができる。デポライザを構成していた偏波保持光ファイバを節減して、材料コストを低減する。調整操作などが多いデポライザの製造が不要になるので製造コストも低減できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の光ファイバジャイロの構成図。

【図 2】従来例に係る偏波保持光ファイバをファイバコイルに用いた光ファイバジャイロの構成図。

【図 3】従来例に係るシングルモードファイバをファイバコイルに用い、偏光子の前と、ファイバコイルの近くにデポライザを設けた光ファイバジャイロの構成図。

【図 4】圧電振動子に光ファイバを巻き付けた位相変調器の斜視図。

【図 5】偏波保持光ファイバ 2 本を異方性軸が 4 5 度をなすように接合したデポライザの分解斜視図。

【図 6】複屈折を持つファイバを、長手方向に並ぶ複屈折を持つ微小位相板の集合として考えることを示す分解斜視図。

【図 7】本発明の実施例に係る光ファイバジャイロの構成図。

【図 8】本発明者が以前に発明した光源より信号を取り出す光ファイバジャイロに、本発明を適用した実施例に係る光ファイバジャイロの構成図。

【符号の説明】

- 7 位相変調器  
9 受光素子  
10 デポラライザ  
11 デポラライザ  
13 偏波保持光ファイバ  
14 偏波保持光ファイバ

光源 1

2光ファイバ

3 カップラ

デポラライザ 4

偏光子 4

シングルモードファイバ

ファイバコイル 7

カップラ 5

受光素子 9

×ファイバ接続点

偏流維持ファイバ

7の相対位置

従来例 全体が偏波保持ファイバで構成

光源 1

2 光ファイバ

3 カップラ

偏光子 4

5 カップラ

偏波保持ファイバ

ファイバコイル 6

7 7ビット受光器

9 受光素子

× 接続点

従来例

ファイバコイルがシングルモードファイバ  
できている

光源1

2 光ファイバ

3 カップラ

受光素子9

デポラライザ

10

偏光子4

カップラ

5

デポラライザ

11

ファイバ

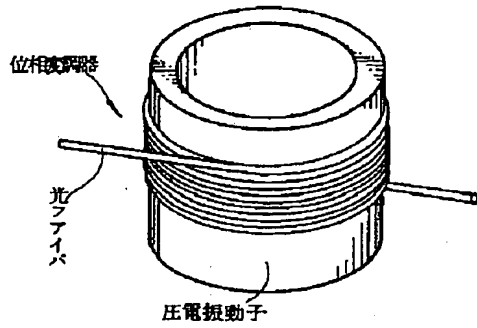
シングルモード

位相調整器

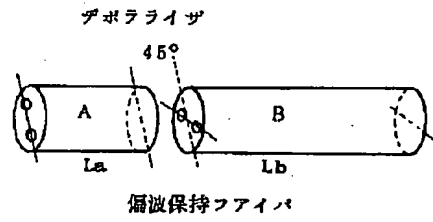
7

ファイバコイル6

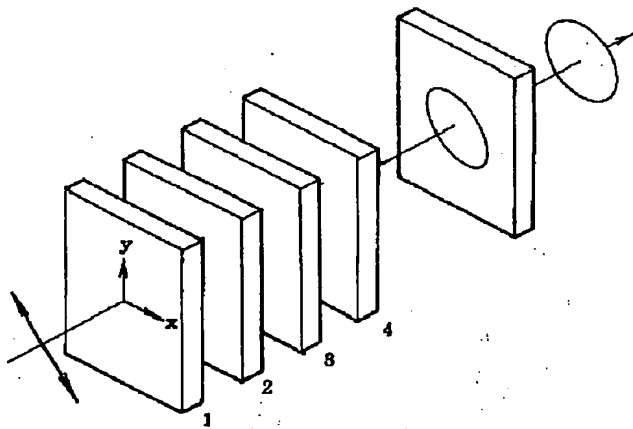
【図 4】



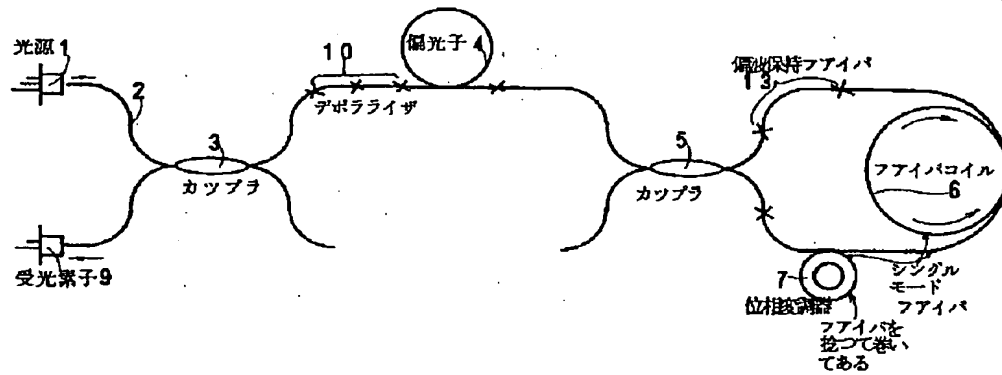
【図 5】



【図 6】



【図 7】



【 図 8 】

